

# DESIGN OF THE ENDPOINT TRAJECTORY OF THE ROBOTIC ARM USING THE VIRTUAL POINT METHOD

**Lubomír Bubeník**

Master's degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xbuben03@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Petr Pivoňka

E-mail: pivonka@feec.vutbr.cz

**Abstract:** The paper deals with a new approach to create a robotic arm trajectory. The first part describes the implementation of the trajectory planning into the web environment. The second part shows virtual point method, the virtual robot model and the trajectory generation. The last part presents designed communication between the industrial systems and the robotic arms.

**Keywords:** Robotic arm, trajectory planning, HTML5, CSS3, industry production, virtual reality

## 1 ÚVOD

Robotické ramená sú neoddeliteľnou časťou moderného výrobného procesu. Každé robotické rameno ale vyžaduje špecializovaný software a skúseného programátora pre tvorbu trajektórie. Z týchto špecifikácií vyplýva, že použitie robotického ramena vo výrobnom procese je finančne nákladné a časovo náročné. Zmyslom práce je vytvoriť nový prístup k programovaniu robotického ramena tak, aby sa časová a finančná náročnosť znížila.

V dnešnej dobe sú stále preferované textové jazyky pri programovaní robotických ramien. Ich použitie ale rapídne spomaľuje návrh trajektórie. Programátor musí byť často dostatočne skúsený, aby si vedel predstaviť scénu. Na druhej strane software, ktorý podporuje tvorbu trajektórie umiestnením bodov do priestoru, je často drahý. Navyše software v oboch prípadoch vyžaduje konkrétny operačný systém s dodatočnou inštaláciou.

## 2 NÁVRH WEBOVEJ APLIKÁCIE

Použitie virtuálneho priestoru vo webovej aplikácii na tvorbu jednoduchej trajektórie koncového bodu robotického ramena mení pohľad na spôsob plánovania trajektórie robotického ramena. Na plánovanie trajektórie môže byť použité akékoľvek zariadenie, ktoré disponuje webovým prehliadačom. Nároky na výkon zariadenia rastú iba s komplexnosťou navrhovanej trajektórie. Navyše je možné uplatniť princípy ako pri cloudových riešeniach.

Celá webová aplikácia je písaná modulárne. Tento spôsob je časovo náročnejší, ale pri pridávaní ďalších modulov nie je treba meniť už funkčný kód. Z dlhodobého hľadiska je webová aplikácia ľahko udržiavateľná.

Návrhom trajektórie z webového prostredia sa už čiastočne zaoberá publikácia s názvom: *New 3D HMI tool for robot path planning based on latest W3C standards*. Publikácia popisuje návrh plánovania trajektórie lanového robota v 3D priestore. Obsah je ale primárne zameraný na výpočet kinematiky a následné spracovanie pohybu na úrovni priemyselného zariadenia. [1]

### 2.1 NÁVRH APLIKAČNÉHO ROZHRAŇIA PRE WEBOVÉ PREHLIADAČE

Na urýchlenie vývoja webovej aplikácie bude použité aplikačné rozhranie (API), ktoré posluží ako základ pre tvorbu trojrozmerného virtuálneho priestoru. Výber aplikačného rozhrania pre 3D grafiku

je rozdelený na dve úrovne. Na nízkoúrovňové API, ktoré spracúva výpočtový výkon zariadenia a ponúka najzákladnejšie grafické prvky a vysokoúrovňové API, ktoré ponúka veľké množstvo rozšírených funkcií založených na nízkoúrovňovom API. Ako nízkoúrovňové API je najvhodnejšie rozhranie s názvom WebGL. Rozhranie ako jediné spĺňa požiadavky na aplikáciu a zároveň je dostatočne odladené. Z oficiálnej stránky poskytovateľa WebGL vyplýva, že až 90 percent zo všetkých užívateľmi preferovaných webových prehliadačov, podporuje API WebGL. Z hľadiska funkcií, ktoré budú využité vo webovej aplikácii je najvhodnejšie vysokoúrovňové API s názvom Three.js. Rozhranie ponúka veľké množstvo funkcií, ktoré sú zamerané na oblasť CAD systémov a 3D grafiky. Vo virtuálnom prostredí sa užívateľ môže ľubovoľne pohybovať pomocou dotykových gest alebo počítačovej myši. Webové prostredie ponúka aj možnosť virtuálnej reality. Webová aplikácia zobrazená na mobilných zariadeniach, ponúka lacnú alternatívu na rozdiel od zariadení priamo určených pre virtuálnu realitu.[1][3]

## 2.2 VIRTUÁLNE BODY V PRIESTORE

Virtuálny bod je súčasťou akéhokoľvek objektu, ktorý sa nachádza vo virtuálnom priestore a je priamou súčasťou výslednej trajektórie robotického ramena. Z logického hľadiska nemôže byť celý objekt so svojou plochou súčasťou trajektórie, preto výslednú trajektóriu určuje nekonečne malý bod, ktorý sa nachádza najčastejšie v strede objektu. Aby bol virtuálny bod pre užívateľa viditeľný, v priestore je reprezentovaný ako trojrozmerný objekt s určitou veľkosťou a tvarom. O generovanie a správu virtuálnych bodov vo webovej aplikácii sa stará aplikačné rozhranie VPLib.js, ktoré bolo vytvorené ako súčasť práce. Tvar objektu, ktorý bude reprezentovať virtuálny bod, si môže užívateľ sám zvoliť. Prostredie ponúka užívateľovi možnosť, aby boli virtuálne body reprezentované vlastnými objektami, ktoré sú generované pomocou CAD systémov. Pozícia virtuálneho bodu je daná vždy v súradniciach X, Y, Z od počiatku scény. Rotácia objektov na zvolených súradniciach je vyjadrená buď v Eulerových uhloch alebo v quaternionoch. S každým bodom môže užívateľ ľubovoľne rotovať a presúvať ho po scéne obvyčajným potiahnutím prsta alebo myšou.

## 2.3 PLÁNOVANIE TRAJEKTÓRIE POMOCOU VIRTUÁLNYCH BODOV

Všetky virtuálne body, ktoré sú použité na výslednú trajektóriu koncového bodu robotického ramena, sú rozdelené do blokov. Blok môže obsahovať jeden alebo viac virtuálnych bodov, ktoré sú označené vždy rovnakou farbou. Bloky boli vytvorené za účelom vytvorenia plynulej trajektórie. V rámci jedného bloku je vždy vytvorený splajn, ktorý musí prechádzať virtuálnymi bodmi a zároveň definuje trajektóriu medzi virtuálnymi bodmi, tak aby bol pohyb robotického ramena plynulý, čo zvyšuje životnosť mechaniky robotického ramena. Pokiaľ je ale požiadavka na okamžitú zmenu trajektórie, je pridaný ďalší blok. To znamená, že medzi posledným virtuálnym bodom bloku 1 a prvým virtuálnym bodom bloku 2, je najkratšia možná trajektória. Aktuálna trajektória je reprezentovaná segmentovanou čiarou s hrúbkou 1 pixel. So zmenou pozície každého virtuálneho bodu je znovu prepočítaná trajektória celého bloku. Na prepočítanie trajektórie pre export je využitý splajn tvorený čiarou, ktorej hustota segmentov sa zvyšuje s uhlom zmeny smeru vektorov. Rotácia medzi virtuálnymi bodmi je prepočítavaná priemerne tak, aby bola rotácia plynulá v celom priebehu.

## 3 GRAFICKÉ UŽÍVATEĽSKÉ ROZHRANIE WEBOVEJ APLIKÁCIE

Súčasťou webovej aplikácie je aj virtuálny model skutočného robotického ramena. Virtuálny model je opäť zložený z častí, ktoré sú do webového prostredia importované ako súbory z výstupu CAD systému. Tým, že je robot zložený z určitého množstva častí, poskytuje možnosť vytvárať rovnaký pohyb ako reálny robot. Virtuálny model má pripravených niekoľko vstupov ako pristupovať ku kinematike robotického ramena. Prvým je vstup pre vlastnú kinematiku, ktorú je možné načítať ako knižnicu.[4] V tomto prípade môže celá scéna fungovať nezávisle v simulácii. Ďalším prístupom sú reálne dáta poskytnuté z robotického ramena. Posledným vstupom sú dáta poskytnuté softwarom tretej strany, ktorý vykonáva všetky výpočty a odosiela ich späť do webovej aplikácie. Ako komunikačné kanály boli zvolené dva rôzne spôsoby. Prvým je komunikácia cez protokol WebSocket, ktorý je všeobecne podporovaný webovými technológiami, ale do priemyselného prostredia preniká len

pomaly. Druhým je komunikácia pomocou protokolu OPC UA, ktorý je už štandardom v priemyselnej automatizácii. Následne sú informácie predávané pomocou preddefinovaných kanálov.

## 4 GRAFICKÉ UŽÍVATEĽSKÉ ROZHRAVIE WEBOVEJ APLIKÁCIE

Neoddeliteľnou súčasťou užívateľského prostredia je intuitívne ovládanie webovej aplikácie. Prvky užívateľského prostredia sú rozdelené do niekoľkých častí.

### 4.1 PRÁCA S KAMEROU

Pohľad na virtuálnu scénu je vykonávaný cez kameru s perspektívnym videním. Tento spôsob naviac pripomína pohľad bežného človeka. Automatický pohyb kamery je riadený systémom udalostí. Jednou z týchto udalostí je napríklad pridanie nového virtuálneho bodu. Kamera vykoná plynulý presun z pôvodného miesta na nové miesto pred novo pridaný virtuálny bod tak, aby pohľad kamery vždy smeroval cez stred virtuálneho bodu do stredu scény. Tento spôsob zaisťuje, že užívateľ vie, kde sa kamera premiestnila a taktiež, ktorým smerom je natočená.

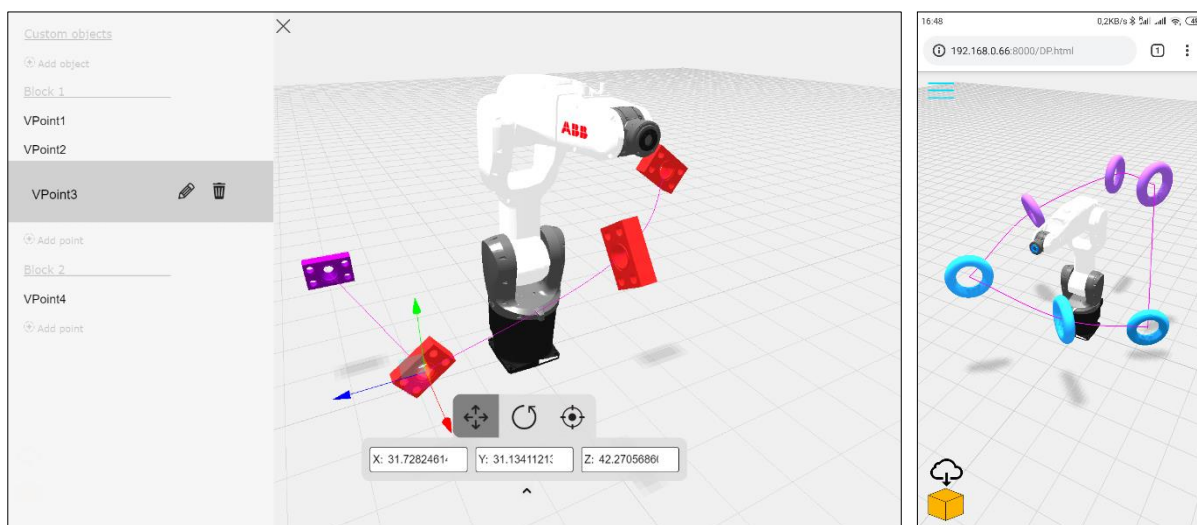
Ďalšou udalosťou je centrovanie kamery na vybrané miesto. Kamera má pohyblivý stred rotácie, ktorý sa mení s každým posunom v scéne. Užívateľské prostredie má implementovanú funkciu okamžitého centrovania. Ak užívateľ klikne na vybraný bod v scéne, stred rotácie sa zmení a je možné rotovať kamerou okolo objektu.

### 4.2 ZOBRAZENIE BODOV V SCÉNE

Webová aplikácia je vybavená bočným výsuvným panelom, ktorý prehľadne zobrazuje importované zariadenia do scény, jednotlivé bloky a body v nich umiestnené. Pomocou bočného panela je možné pridávať alebo spravovať celé bloky a ich nastavenia. Taktiež je možné cez panel pridať alebo editovať virtuálne body. Po kliknutí na už existujúci bod je kamera automaticky premiestnená na zvolené miesto. Z panelu je ďalej možné odstraňovať jednotlivé virtuálne body. Pokiaľ je blok prázdny, je automaticky odstránený. Bočný panel využíva najnovšie technológie z oblasti dizajnu, ktoré ponúkajú HTML5 a CSS3.

### 4.3 KONTROLA ZVOLENÉHO BODU

Po kliknutí na virtuálny bod sa zobrazí prehľadná ponuka, v ktorej je možné zobrazit' aktuálnu pozíciu bodu, jeho rotáciu alebo centrovanie naň. Tento panel slúži aj na zadávanie presných súradníc v číselnej forme alebo presne zadaný uhol rotácie.



Obrázok 1: Pohľad na webovú aplikáciu s klasickým a mobilným zobrazením

## ZÁVER

Trajektória koncového bodu robotického ramena môže byť tvorená aj z webového prostredia. Presunom do webovej aplikácie už nie je užívateľ viazaný konkrétnym operačným systémom a inštaláciou dodatočného softwaru. Navyše, pri presune na internet môžu byť uplatnené klasické cloudové riešenia. Spolu s webovou aplikáciou bola vytvorená trojrozmerná virtuálna scéna, v ktorej je možné tvoriť trajektóriu koncového bodu robotického ramena jednoduchým a prehľadným spôsobom. V scéne sú implementované virtuálne body, trajektória medzi bodmi, virtuálne robotické rameno a dodatočný hardware na scéne. Webovú aplikáciu dopĺňa užívateľské prostredie, pomocou ktorého je scéna ešte viac prehľadná a užívateľ má jednoduchý prístup ku každému virtuálnemu bodu.

## REFERENCIE

- [1] O. Severa, R. Pišl, M. Čech, M. Goubey, M. Štětina and M. Schlegel, "New 3D HMI tool for robot path planning based on latest W3C standards," Proceedings of the 13th International Carpathian Control Conference (ICCC), High Tatras, 2012, pp. 631-636
- [2] WebGL - 3D Canvas graphics [online]. [cit. 7. 3. 2019]. Dostupné z URL: <<https://caniuse.com/#feat=webgl>>
- [3] three.js [online]. [cit. 7. 3. 2019]. Dostupné z URL: <<https://threejs.org/>>
- [4] M. Beck - robot-gui [online]. [cit. 23.3.2019] . Dostupné z URL: <<https://github.com/glumb/robot-gui>>